

# EXTRACORPOREAL CIRCULATION APPARATUS HAVING CONTROL FUNCTION

Publication number: JP2000000299

Publication date: 2000-01-07

Inventor: ARAKI KENJI; OSHIKAWA MITSUO; ANAI HIROBUMI

Applicant: JMS CO LTD

Classification:

- international: **A61M1/10; A61M1/14; A61M1/22; A61M1/10;  
A61M1/14; A61M1/16; (IPC1-7): A61M1/10; A61M1/14;  
A61M1/22**

- european:

Application number: JP19990104664 19990413

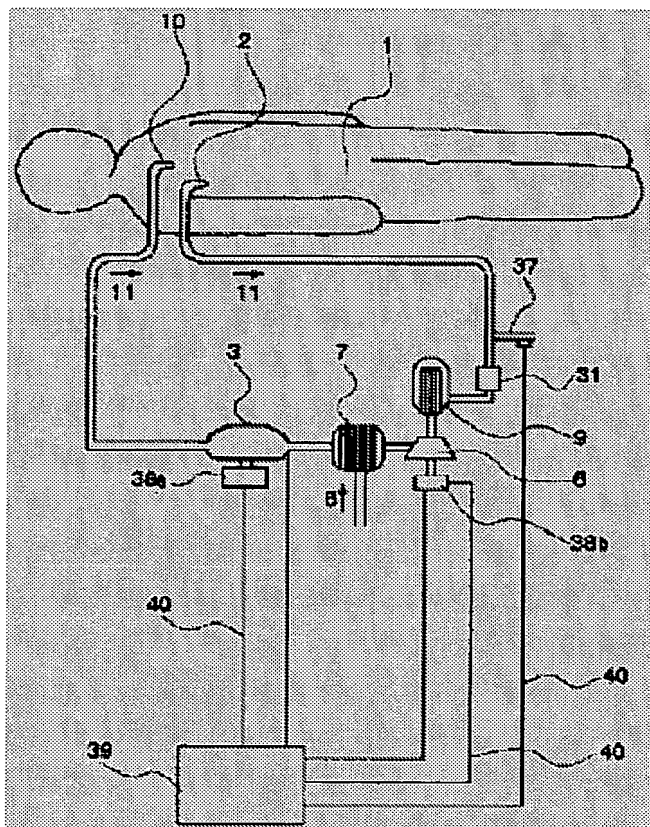
Priority number(s): JP19990104664 19990413; JP19980101514 19980413

Report a data error here

## Abstract of JP2000000299

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an extracorporeal circulation apparatus which is simple and is automatically controllable and low-invasive and is simple in constitution.

**SOLUTION:** The extracorporeal circulation apparatus which is arranged with prescribed elements within circuits to cause the extracorporeal circulation of blood has a blood pump 6, a blood reservoir 3 having a volume adjusting means for actively increasing and decreasing the volume to be stored and a volume detecting means for detecting the volume and a control means 39 which is supplied with the output of this volume detecting means, controls the volume of the blood reservoir and controls the flow rate of the blood pump with the volume adjusting means. The apparatus is so constituted that the adjustment of the circulation state in the circuits is made possible by controlling at least the volume adjusting means.



Data supplied from the [esp@cenet](mailto:esp@cenet) database - Worldwide

(11)特許出願公開番号

特開2000-299

(P2000-299A)

(43)公開日 平成12年1月7日(2000.1.7)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>		識別記号	F I		テーマコード* (参考)
A 6 1 M	1/10	5 0 0	A 6 1 M	1/10	5 0 0
	1/14	5 8 0		1/14	5 8 0
	1/22	5 2 5		1/22	5 2 5

審査請求 未請求 請求項の数19 O.L (全 12 頁)

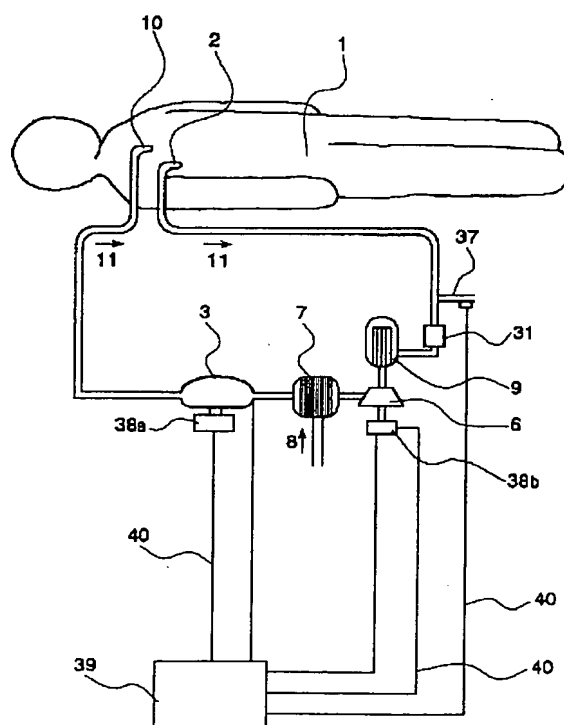
(21)出願番号	特願平11-104664	(71)出願人	000153030 株式会社ジェイ・エム・エス 広島県広島市中区加古町12番17号
(22)出願日	平成11年4月13日(1999.4.13)	(72)発明者	荒木 賢二 宮崎県宮崎市生目台4丁目10番地5
(31)優先権主張番号	特願平10-101514	(72)発明者	押川 満雄 宮崎県宮崎郡清武町大字加納乙78-3 ル・グラン加納901号
(32)優先日	平成10年4月13日(1998.4.13)	(72)発明者	穴井 博文 大分県大分市大石町4丁目1組の1
(33)優先権主張国	日本(JP)	(74)代理人	100095555 弁理士 池内 寛幸 (外3名)

(54) 【発明の名称】 制御機能を備えた体外循環装置

(57) 【要約】

【課題】 簡便で自動制御可能な体外循環装置を提供する。また、簡素な構成で、低侵襲な体外循環装置を提供する。

【解決手段】 回路内に所定の要素を配置して血液を体外循環させるように構成した体外循環装置において、血液ポンプ６と、貯留する容量を能動的に増減するための容量調節手段および容量を検出するための容量検出手段を有する血液リザーバ３と、容量検出手段の出力が供給されて容量調節手段を介して血液リザーバの容量を制御するとともに、血液ポンプの流量を制御する制御手段３９とを備える。制御手段３９により、少なくとも前記容量調節手段を制御して、回路内の循環状態を調節することが可能なように構成される。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 回路内に所定の要素を配置して血液を体外循環させるように構成した体外循環装置において、血液ポンプと、

貯留する容量を能動的に増減するための容量調節手段、および前記容量を検出するための容量検出手段を有する血液リザーバと、

前記容量検出手段の出力が供給されて前記容量調節手段を介して前記血液リザーバの容量を制御するとともに、前記血液ポンプの流量を制御する制御手段とを備え、前記制御手段により、少なくとも前記容量調節手段を制御して、回路内の循環状態を調節することが可能なように構成したことを特徴とする体外循環装置。

【請求項 2】 回路内の循環状態を検知する循環状態検知手段を備え、制御手段が、前記循環状態検知手段が検知した出力に応じて、前記回路内の循環状態を調節する請求項 1 に記載の体外循環装置。

【請求項 3】 血液ポンプが非容積型血液ポンプである請求項 1 または 2 に記載の体外循環装置。

【請求項 4】 血液リザーバは、血液を貯留する血液室と、その血液室を蔽う外部ハウジングとを有し、前記血液室はその室内の血液が外気と接しない閉鎖式であり、容量調節手段が、前記血液室の外壁の少なくとも一部を変形させることにより容量を調節するように構成された請求項 1～3 のいずれかに記載の体外循環装置。

【請求項 5】 血液リザーバは、血液を貯留する血液室と、その血液室に隣接して設けた前記血液室内の血液容量を調節する圧調節室と、これらの 2 室を蔽う外部ハウジングとを有し、前記血液室はその室内の血液が外気と接しない閉鎖式であり、容量調節手段が、前記血液室の外壁の少なくとも一部を変形させることにより容量を調節するように構成された請求項 1～3 のいずれかに記載の体外循環装置。

【請求項 6】 容量検出手段は、血液室の外壁の変形状態に基づき血液室の血液容量を検出するように構成された請求項 4 または 5 に記載の体外循環装置。

【請求項 7】 血液室の少なくとも一部が可撓性の隔壁であるダイアフラムにより形成された請求項 4～6 のいずれかに記載の体外循環装置。

【請求項 8】 容量調節手段は硬性の板からなるプッシャープレートとを有し、そのプッシャープレートが隔壁を圧迫もしくは牽引することにより、血液室の容量を調節する請求項 7 に記載の体外循環装置。

【請求項 9】 回路内において、非容積型ポンプが血液リザーバの上流側にのみ設置されている請求項 3～8 のいずれかに記載の体外循環装置。

【請求項 10】 循環状態検知手段が、流入部に設けられた圧力センサである請求項 2 に記載の体外循環装置。

【請求項 11】 循環状態検知手段が、血液ポンプの駆動装置に接続された消費電流および／または消費電力モ

2

ニターの出力に基づき循環状態を検知するように構成された請求項 2 に記載の体外循環装置。

【請求項 12】 循環状態検知手段が、回路内から得られたデータに基づき、生体の動脈圧および／または体外循環血液流量を推定する循環状態推定手段を有する請求項 2、10 または 11 のいずれかに記載の体外循環装置。

【請求項 13】 制御手段は、循環状態検知手段から得られる情報に基づき脱血部の吸い付きを検出し、該吸い付きが検出されたとき、血液ポンプの回転数を下げるか、もしくは血液リザーバの容量を下げるように制御する請求項 2、または 10～12 のいずれかに記載の体外循環装置。

【請求項 14】 循環状態検知手段から得られる情報に関して臨界値または目標となる範囲を示す設定値を設定する手段を有し、制御手段は、前記情報と前記設定値の比較に基づき、血液の体外循環流量を増加または減少させる請求項 2、または 10～13 のいずれかに記載の体外循環装置。

【請求項 15】 体外循環流量の増加は、血液ポンプの回転数を上げるか、もしくは血液リザーバの容量を下げる操作の少なくとも一方によって行い、前記体外循環流量の減少は、前記ポンプの回転数を下げるか、もしくは前記血液リザーバの容量を上げる操作の少なくとも一方によって行う請求項 14 に記載の体外循環装置。

【請求項 16】 血液ポンプの回転数を周期的に増減させることにより、循環システムに拍動流を発生させる手段を備えた請求項 1～15 のいずれかに記載の体外循環装置。

【請求項 17】 血液リザーバの容量を周期的に増減させることにより、循環システムに拍動流ないし振動を発生させる手段を備えた請求項 1～16 のいずれかに記載の体外循環装置。

【請求項 18】 回路内に配置される要素のうち少なくとも、血液ポンプ、血液リザーバ、人工肺、およびフィルターを一体的に組み立てて構成した請求項 1～17 のいずれかに記載の体外循環装置。

【請求項 19】 回路の流入部に配置された空気混入を検出する空気混入検出手段と、前記空気混入検出手段の出力に応じて作動し、回路内への空気の混入が検出されたとき、警報の発生およびポンプの自動停止のうち少なくとも一方を行う手段とを備えた請求項 1～18 のいずれかに記載の体外循環装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、血液の体外循環装置、特に、循環状態を制御する機能を備えた簡便で低侵襲な体外循環装置に関する。

【0002】

【従来の技術】心臓・大血管の手術では、一時的に心臓

3

を停止あるいは停止に近い状態にする必要があり、心臓と肺の機能を機械により肩代わりさせるため、体外循環装置を用いる。従来使用されている体外循環装置は、図8に示すように、主要な要素として、脱血管2、血液リザーバ83、熱交換器5、メインポンプ86、人工肺7、フィルタ9、および送血管10を備え、それらの要素を血液回路中に順次配置した構成である。

【0003】脱血管2は、患者1の上下大静脈や右心房に挿入され、流量を多くとるため可及的に太いものが用いられる。血液リザーバ83は、血液が空気に接する開放型が多く用いられており、患者1と血液リザーバ83の落差を利用した落差脱血により、脱血管を通して血液が流入する。少数ではあるが、血液が空気に接しない閉鎖型の血液リザーバも用いられ、血液ポンプを用いた強制脱血により、脱血管を通して血液が流入するものもある。開放型の血液リザーバでは、貯液された血液容量が低下すると回路内に空気を送り込む危険が増すため、警報を発するものがあるが、能動的に容量を調節するものは知られていない。熱交換器5は血液リザーバ内に設置されることが多く、金属製のチューブに、加温冷却装置4により加温ないし冷却された液体（通常は水道水）を灌流し、血液を加温ないし冷却する。メインポンプ86は、ローラーポンプあるいは遠心ポンプが用いられ、血液リザーバの下流に設置されている。メインポンプが血液リザーバの上流に設置されている例はない。体外循環装置全体は大型であり、一般の手術に比べて広いスペースを確保しておく必要がある。また、大型の機械のため持ち運びには適さず、常時手術場に設置されている。

【0004】体外循環装置の操作は、そのための特別な人員を配置して行われる。体外循環操作者は、通常、体外循環技術者がその任に当たるが、医師が行うこともある。いずれにせよ、高度な技術を獲得した特別な人員が必要である。体外循環操作者は手術台の横に位置し、決して手術操作に加わったり、遠隔地に位置することはない。体外循環操作者は、脱血の程度、生体の動脈圧を見ながら、至適な体外循環血液流量を考慮し、手動操作により、血液リザーバの容量やポンプ流量の調整を行っている。そのため、体外循環施行中に体外循環操作者が体外循環装置から離れることはできない。

【0005】ところで、人的、経済的な医療資源を有効に活用するために、外科領域においては低侵襲手術が積極的に導入されている。心臓外科領域での低侵襲手術はMICS（Minimally Invasive Cardiac Surgery；低侵襲心臓手術）と呼ばれる。MICSでは、侵襲を減らすために全長にわたる胸骨正中切開は行われず、皮膚切開は極力短くされる。そのため、心臓を露出するための視野が制限される。よって、体外循環装置に用いられる脱血管は、視野の妨げにならない細いものが好まれる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】本発明の主要な目的

4

は、操作が容易で運転の自動化も可能な体外循環装置を提供することである。また、低侵襲な体外循環を可能とする体外循環装置を実現することも付随する重要な目的である。本発明が解決しようとする課題に関して、以下に詳述する。

【0007】＜省力化・易操作性＞従来、心臓・大血管手術において体外循環が必要な場合には、体外循環を操作するための人員が必要であった。しかも、体外循環装置の運転は、操作が煩雑で高度な技術を要し、経験が必要である。従って本発明は、運転を機械的に制御し、操作が容易・簡便で、省力化が可能な装置を提供することを目的とする。

【0008】＜低侵襲性＞体外循環が生体に与える副作用として、血液の希釈、大量の抗凝固剤投与による出血、血球破壊による溶血や炎症の惹起、非生理的な定常流による臓器血流の低下などが挙げられる。これらの副作用を減弱するため、低侵襲性を実現できる体外循環装置が望ましい。一方、MICSなどで用いられている脱血管は細いため、適切な脱血量が得られないことがある。従って本発明は、低侵襲性を確保しつつも、循環システムを流れる血液流量を確保することのできる装置を提供することを目的とする。

【0009】＜安全性＞従来の体外循環装置は、安全機構が十分に備わっていないため、安全性は主に体外循環を操作する技術者の技能に依存している。従って本発明は、ハードウェア的あるいはソフトウェア的に安全機構を備えた装置を提供することを目的とする。

【0010】＜小型化、可搬性の確保＞従来の体外循環装置は大型であり、広いスペースを確保する必要がある。また、移動は困難であり、器材の弾力ある運用に支障を来している。従って本発明は、循環システムの小型化や易動性の改善を目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記の課題を解決するために、本発明の体外循環装置は、回路内に所定の要素を配置して血液を体外循環させるように構成した体外循環装置であって、血液ポンプと、貯留する容量を能動的に増減するための容量調節手段および容量を検出するための容量検出手段を有する血液リザーバと、容量検出手段の出力が供給されて容量調節手段を介して血液リザーバの容量を制御するとともに、血液ポンプの流量を制御するための制御手段とを備える。制御手段により、少なくとも容量調節手段を制御して、回路内の循環状態を調節することが可能なように構成される。この構成によれば、血液リザーバが容量調節手段と容量検出手段とを有し、その容量を制御することが可能なことにより、装置の運転は操作者の高度な技術を必要とせず、容易で簡便なものとなる。

【0012】好ましくは、回路内の循環状態を検知する循環状態検出手段を備え、制御手段が、循環状態検出手

段が検知した出力に応じて、回路内の循環状態を調節するように構成する。それにより、自動運転が容易になる。

【0013】また、好ましくは、血液ポンプを非容積型血液ポンプとする。非容積型血液ポンプを用いることにより、脱血管の吸い付きなどのトラブル時に過大な陰圧が発生することを防止でき、安全性が高まり、また、小型で低侵襲なシステムを構築することが可能である。

【0014】更に、好ましくは、血液リザーバを、血液を貯留する血液室と、その血液室を蔽う外部ハウジングとを有する構成とする。あるいは、血液を貯留する血液室と、その血液室に隣接して設けた血液室内の血液容量を調節する圧調節室と、これらの2室を蔽う外部ハウジングとを有する構成とする。いずれの場合も、血液室はその室内の血液が外気と接しない閉鎖式とする。血液リザーバを閉鎖式とすることにより、開放型と比べて安全性の観点から強制脱血が容易となる。従って、大流量を確保し、低侵襲性を実現することも容易である。また、小型化も容易となる。更に、容量調節手段は、血液室の外壁の少なくとも一部を変形させることにより容量を調節するように構成する。

【0015】これらの構成において、容量検出手段は、血液室の外壁の変形状態に基づき血液室の血液容量を検出するように構成することが好ましい。それにより、容量の調節、および容量の計測を、簡単な構成で行うことができる。また、血液室の少なくとも一部を可撓性の隔壁であるダイアフラムにより形成することが好ましい。この構成によれば、ダイアフラムを気体あるいは液体で圧迫もしくは牽引することにより、容量調節、および容量検出を簡単に構成で行うことができるとともに、血液リザーバの形状や設置場所の自由度が高い。更に、容量調節手段は硬性の板からなるプッシャープレート有し、そのプッシャープレートが隔壁を圧迫もしくは牽引することにより、血液室の容量を調節するように構成することが好ましい。それにより、容量調節のための機構を単純にでき、装置を安価に製作できる。

【0016】更に、好ましくは、回路内において、非容積型ポンプが血液リザーバの上流側にのみ設置する。この構成によれば、陰圧による強制脱血が容易であり、脱血管を細くでき、低侵襲性の実現に有利である。

【0017】更に、好ましくは、循環状態検知手段を、流入部に設けられた圧力センサで構成する。また、循環状態検知手段が、血液ポンプの駆動装置に接続された消費電流および/または消費電力モニターの出力に基づき循環状態を検知するように構成する。更に、好ましくは、循環状態検知手段が、回路内から得られたデータに基づき、生体の動脈圧および/または体外循環血液流量を推定する循環状態推定手段を有する。これらの構成によれば、脱血管に過大な陰圧がかかることを防止でき、空気を引き込む可能性が少なくなり、安全性が高まる。

血液ポンプの消費電流等から循環状態を検知する構成の場合は、センサを必要としないためシステムを安価に製作可能である。

【0018】更に、好ましくは、制御手段は、循環状態検知手段から得られる情報に基づき脱血部の吸い付きを検出し、該吸い付きが検出されたとき、血液ポンプの回転数を下げるか、もしくは血液リザーバの容量を下げるように制御する。それにより、脱血部の吸い付きに容易に対処でき、吸い付きが予防できて安全性が高まる。

【0019】更に、好ましくは、循環状態検知手段から得られる情報に関して臨界値または目標となる範囲を示す設定値を設定する手段を有し、制御手段は、当該情報と設定値の比較に基づき、血液の体外循環流量を増加または減少させる。更に、好ましくは、体外循環流量の増加は、血液ポンプの回転数を上げるか、もしくは血液リザーバの容量を下げる操作の少なくとも一方によって行い、体外循環流量の減少は、ポンプの回転数を下げるか、もしくは血液リザーバの容量を上げる操作の少なくとも一方によって行うように構成する。それにより、体外循環の自動運転が容易になる。

【0020】更に、好ましくは、血液ポンプの回転数を周期的に増減させるか、もしくは血液リザーバの容量を周期的に増減させることにより、循環システムに拍動流を発生させる手段を備える。それにより、脳血管障害や腎不全などの合併症を有する患者においても、適切な臓器灌流が得られる。

【0021】更に、好ましくは、回路内に配置される要素のうち少なくとも、血液ポンプ、血液リザーバ、人工肺、およびフィルターを一体的に組み立てて構成する。それにより、可搬性が高まる。

【0022】更に、好ましくは、回路の流入部に配置された空気混入を検出する空気混入検出手段と、空気混入検出手段の出力に応じて作動し、回路内への空気の混入が検出されたとき、警報の発生およびポンプの自動停止のうち少なくとも一方を行う手段とを備える。それにより、空気の回路内混入という重大なトラブルを防止できて、安全性が高まる。

【0023】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について、図面を参照して概略を記載する。図1に、本発明の一実施形態における体外循環装置を示す。なお、図8の従来例と同一の構成要素については、同一の番号を付したが、その配置は必ずしも従来例と同一ではない。

【0024】脱血管2から送血管10までの回路中には、上流(脱血管側)から下流に向かって、主要な要素として、フィルタ9、メインポンプ6、人工肺7、血液リザーバ3が配置され、それらが順次短いチューブで接続されている。血液リザーバ3、メインポンプ6にはそれぞれ、駆動装置38a、駆動用モータ38bが設けられている。さらに、回路の流入部(本発明で言う流入部

7

とは、メインポンプより上流側の血液回路の一部を指す)に、圧センサを含む回路内圧測定ポート37、および超音波流量計プローブ31が配置されている。39は制御手段をなすコントローラであり、血液リザーバ3、メインポンプ6、回路内圧測定ポート37、および超音波流量計プローブ31と、配線40により接続されている。11は回路内の血液の流れを示す。

【0025】血液リザーバ3は、貯留する容量を能動的に増減するための容量調節手段を有する。駆動装置38aは容量調節手段の要素の一部をなすものである。また、図1には図示されていないが、血液リザーバ3は、容量を検出するための容量検出手段を有する。回路内圧測定ポート37、および超音波流量計プローブ31は、回路内の循環状態を検出するための手段である。

【0026】コントローラ39は、回路内圧測定ポート37および超音波流量計プローブ31の出力に応じて、血液リザーバ3の容量およびメインポンプ6を制御する。コントローラ39は、制御のための基準値を保有し、それに基づいた制御を行うので、基準値を設定するための設定部を有する。基準値の設定は、可変であることが望ましいが、使用の条件によっては固定であってもよい。また、コントローラ39による制御が、回路内圧測定ポート37および超音波流量計プローブ31の出力により自動的に行われることは必須ではない。コントローラ39を手動で操作する構成であっても、血液リザーバ3が容量調節手段を有することにより、本発明の効果の主要部分は得られるからである。以上の要素のうちの主要なものについて、以下に詳述する。

【0027】<血液リザーバ3ならびにその容量調節装置>血液リザーバ3は、図2に示したように、血液を容れて貯めておく血液室16と、血液室16の内容量を調節するための圧調節室17とを備える。両室16、17は、可撓性のある隔壁(ダイアフラム)18により区切られている。3a、3bは回路と接続するための接続管、3cは、圧調節室17と容量調節装置(図示せず)とを接続するための接続管である。図2には図示していないが、貯留された血液容量を検出する容量検出手段を有する。血液リザーバ3は、容量調節装置により貯血量を能動的に調節可能である。本発明における血液リザーバ3、ならびにその容量調節装置としては、様々な形態のものを用いることができる。それらを分類しながら説明する。

【0028】一般的に体外循環回路に組み込まれる血液リザーバは、血液と空気が接する開放型と、空気と接しない閉鎖型がある。従来の体外循環装置では、開放型リザーバが組み込まれていることが多い。しかし、簡便な体外循環装置とするためには、リザーバの貯血量を常に監視しなければならない開放型のリザーバは不適である。従って、本発明では、閉鎖型が好ましい。血液室の血液容量を能動的に増減させ、調節するための容量調節

8

装置としては、第一の、液体あるいは気体を介して血液室を圧迫牽引することにより血液容量を調節する流体圧式と、第二の、直接機械的に血液室を圧迫牽引することにより血液容量を調節する機械式とがある。

【0029】第一の流体圧式においては、図2に示すように、血液を容れる血液室16と、血液室の全体もしくは一部を包み込み、圧調節のための気体や液体を容れる圧調節室17の二つの部屋が存在する。血液室16は、容器の全体もしくは一部が軟性となっており、圧調節室17の圧は、血液室16の軟性部分を介して血液室16に反映され、血液室16の容量が調節される。図2は流体圧式の中でも、可撓性のある隔壁(ダイアフラム)18を有する血液リザーバを示す。

【0030】圧の媒体は気体でも液体でもよい。液体は流動性を持ったものなら何でもよい。滅菌し溶存気体を除去した脱気生理食塩水が好ましいが、血液と直接接することはないので滅菌していない単なる水でもよい。圧調節室に液体や気体等の流体を送り込み、適切な圧を発生させる血液リザーバ容量調節装置は、血液室に組み込むことも可能であるが、チューブを介して別個に設置してもよい。組み込んだ場合はシステム全体がコンパクトになる。別個にした場合は、血液室自体はコンパクトになり、血液室の設置場所の制限が少なくなる。

【0031】血液リザーバ容量調節装置は適切な圧を発生させ得るものなら何でもよい。媒体が空気の場合には、圧の調節可能なコンプレッサーを用いることも可能である。媒体が液体の場合は、シリンジやペローズなどの直接容量を規定してしまう方式(容量規定方式)と、送液ポンプを用いて液圧を調節する方式(ポンプ液圧調節方式)がある。

【0032】容量規定方式には、図3に示すような構造の装置を用いることができる。同図(a)は圧調節室の容量を、ピストン19を用いて規定する装置を示す。ピストン19の位置により加減される圧力が、接続管19aを介して圧調節室17に伝達される。同図(b)、(c)、(d)は、各々容量が、シリンジ20、ペローズ21、プッシャープレート22により調節される。

(a)と同様に、各々、接続管20a、21a、22aを介して圧調節室17に接続される。ピストン19、シリンジ20、ペローズ21、プッシャープレート22は、モータ等により駆動される。

【0033】ポンプ液圧調節方式では、圧調節室の容量は、血液リザーバ容量調節装置用の送液ポンプを用いて調節される。ここで用いるポンプは送液可能なものなら何でも適用できる。求められる性能としては、小型で信頼性、耐久性に優れ、送液の方向を問わず、応答性に優れ、高い圧が発生でき、コストのかからないのがよい。具体的には、遠心ポンプ、斜流ポンプ、軸流ポンプ、摩擦ポンプ、ギアポンプ、ローラーポンプなどが挙げられる。遠心ポンプと斜流ポンプは、送液の方向が一

方向なので、方向を変える切り替え弁が必要となる。図4(a)、(b)はそれぞれ、ローラーポンプ23、軸流ポンプ24を用いた例を示す。図において、25は送液用の貯液室である。

【0034】第二の機械式としては、図5に示すような構成を用いることができる。この場合、血液リザーバ容量調節装置は、血液室に直接結合した構造になる。図5(a)は、ピストン12を用いた例である。血液室12cは、ピストン12の位置により容量が可変の容器となる。12a、12bは回路と接続するための接続管である。同図(b)、(c)、(d)は、各々容量が、シリンジ13、ペローズ14、プッシャープレート15により調節される例を示す。駆動源としては、モータや電磁石などが用いられ、なんらかの圧迫牽引を受けることにより容量を調節する。

【0035】第一の機械式と第二の流体圧式の両者において、血液室の形状は、抗血栓性を高めるため、血流鬱滞箇所の少ないものとしなければならない。機械式より流体圧式の方が血液室のデザインの制限が少なく、抗血栓性においては優れていると考えられる。一方、機械式は、機構が単純で部品点数も少なくすむため、安価に製作可能である。血液室容量の調節範囲は、対象となる患者が成人か小児かにもよるが、成人であれば100ml～4000mlまで調節可能であることが望ましい。

【0036】血液室の容量を検出する容量検出手段の構成としては、様々な形態のものを用いることができる。ピストン、シリンジ、ペローズを血液室に用いれば、駆動モータの回転軸の変位位置により単純に容量を検出できる。血液室や圧調節室にホールセンサーや超音波クリスタル等の容量検知手段を取り付けたり、血液室に微弱な電流を流してインピーダンスやコンダクタンスを電流電圧計で計測するなどの方法でも血液室の容量を計測できる。また、流体圧式の場合でその流体が液である場合は、調節室からチューブを介して排出された液の容量を液量計で計測しても血液室の容量を計測できる。排出された液の容量の計測法は、自由度が高いため多くの方法が考えられるが、単純に重さを重量計で測るだけでもよい。なお、コントローラ39に検出データを供給するための手段が必要であり、そのためには、例えば検出結果を電気信号として出力するように構成する。

【0037】本発明における血液リザーバに、熱交換器を組み込むことは可能である。熱交換器を組み込む方法はいくつかあり、次のようなものが例として挙げられる。第一に、血液リザーバの血液室内に、熱交換能の優れた材質でできたチューブを設置し、同チューブ内に加温あるいは冷却された液体を灌流することにより、血液ひいては生体の加温、冷却が可能である。第二に、プッシャープレートをを用いた機械式リザーバでは、プッシャープレートを加温あるいは冷却することにより、血液ひいては生体の加温、冷却が可能である。加温だけに限定

すれば、プッシャープレートにヒーターを組み込む方法も考えられ、単純で有効な方法である。第三に、水圧式リザーバでは、圧調節室内の液を加温あるいは冷却することにより、血液ひいては生体の加温、冷却が可能である。血液室内に熱交換器を設置するより、血液の鬱滞箇所がなくなり、抗血栓性が高くなると考えられ、低侵襲性を高めるためにも有効な方法である。

【0038】＜メインポンプ6＞次に、メインポンプ6について説明する。MICSなどで用いられている脱血管は細いため、適切な脱血量が得られないことがある。そのため、脱血に過大ではない適切な陰圧を付加する必要がある。落差脱血では付加陰圧に限界があるため、ポンプを用いた強制脱血が好ましい。また、落差脱血では、落差を大きくするため、手術台を高くする必要があるが、強制脱血では、心臓以外の一般の手術と同じ手術台を利用でき、手術室の運用上有効である。

【0039】一般的に、送液ポンプには容積型と非容積型がある。体外循環装置に多く用いられているローラーポンプは容積型ポンプに分類される。体外循環装置のメインポンプに容積型ポンプを用い、しかも血液リザーバより上流に設置した場合の問題点は、脱血管に吸い付きなどの回路の障害が生じた時に、ポンプの流入部に過大な陰圧が発生することである。過大な陰圧は脱血部の生体組織を傷つけ、空気の回路内への引き込みなど重大なトラブルを引き起こす可能性がある。このため、血液リザーバより上流に設置するメインポンプの種類としては、吸い付き等が生じて過大な陰圧が発生せず、調節性に優れた非容積型ポンプが好ましい。非容積型ポンプの代表的なものは、遠心ポンプ、斜流ポンプ、軸流ポンプなどのターボ式ポンプである。このいずれも本発明には用いることができるが、軸流ポンプは高い圧を発生させるためには、回転数を極めて高くする必要があるため、溶血や耐久性を考慮すると好ましい選択ではない。よって、遠心ポンプや斜流ポンプが好ましい。

【0040】＜コントローラ39、および循環状態検知手段＞次に、本発明の体外循環装置におけるコントローラ39による循環状態の制御について説明する。体外循環装置の操作を簡便にし、最も好ましくは自動制御化するために、コンピュータによる制御が必要である。制御にはいくつかの方法が考えられ、また組み合わせることも有効である。

【0041】第1の方法は、圧による吸い付き検出と予防である。すなわち、回路の流入部圧をモニターし、圧波形から吸い付きを検出し、吸い付きが現れれば、ポンプの回転数を下げるか、もしくは血液リザーバの容量を下げる制御を行う。流入部の圧は静脈圧を反映し、正常ではほとんど脈圧のない定常流となっている。しかし、脱血管の吸い付きが生じれば、急激な圧の低下を特徴とする異常な圧波形の乱れが生じる。これは脈圧の増大や、圧変化（圧微分値の絶対値の増大）の増大、圧周波

11

数成分の変化となって現れる。これを循環状態検知手段を構成する圧測定ポート37の圧センサで検出し、それによって得られた情報を制御手段であるコントローラ39に伝達する。コントローラ39にはコンピューターが組み込まれており、圧センサから得られた情報によって、血液が体外循環装置内を順調に流れるようにメインポンプ6および/または血液リザーバを調節する。

【0042】第2の方法は、流入部圧の最低限界値を設定し、設定値を下回れば、ポンプの回転数を下げるか、もしくは血液リザーバの容量を下げる制御法である。最低限界値は、ある程度の陰圧はやむを得ないが、-100mmHgを下回るような陰圧は、メインポンプのキャビテーション発生や、予期せぬ空気の回路内への引き込みなど障害の元となるため予防しなければならない。この場合も第1の方法と同様に、循環状態検知手段としては、回路の流入部圧を計測するため、図1に示す圧センサ37を用いる。なお、コントローラ39には、流入部圧の最低限界値を設定する手段を備えることが必要である。

【0043】第3の方法は、血液ポンプの消費電流もしくは電力を測定し、消費電流もしくは電力の波形から脱血部の吸い付きを検出し、吸い付きが現れれば、ポンプの回転数を下げるか、もしくは血液リザーバの容量を下げる制御法である。これは基本的には第1の方法と同じであるが、ポンプのモータが持っている内部データを用いるため特別なセンサを必要とせず、コストの削減につながる。この場合、血液ポンプを駆動している駆動装置（モータ）の消費電流や消費電力を計測しなくてはならないので、循環状態検知手段として、ポンプのモータの電流または電力をモニターする手段が必要となる。

【0044】第4の方法は、目標となる生体の動脈圧や体外循環血液流量を設定し、該動脈圧と該流量の両者もしくはどちらか一方が設定値を下回れば、ポンプ回転数を上げるか、もしくは血液リザーバの容量を下げ、該動脈圧と該流量の両者が設定値を上回れば、ポンプ回転数を下げるか、もしくは血液リザーバの容量を上げる制御法である。設定する動脈圧や体外循環血液流量は、生体の個体差や術式、生体の状態により決定しなければならない。しかし、事前に個々の症例に適した目標動脈圧や体外循環血液流量を決めることは可能であり、体外循環実施中に設定値を頻回に変更する必要はない。ポンプ回転数と血液リザーバ容量のどちらを優先して調節するかは特に限定されず、どちらも可能である。

【0045】一つの好ましい方法として、ポンプ回転数の至適上限値（Arpmと記す）を設定し、Arpmを越えるまでは、血液リザーバ容量を優先して容量を増やし最大とする方向（フル脱血）で制御し、血液流量を増加させるためにArpmを越える必要が生じれば、回転数を上げずに血液リザーバ容量を減らしていくという方

12

法が考えられる。また、体外循環中は昇圧剤や血管拡張剤の投与も必要であり、適宜適切な処置が必要となる。第4の方法の場合、体外循環装置に設ける循環状態検知手段としては、生体の動脈圧や体外循環血液流量が計測できるものならば、特に限定されず、例えば血液回路に設けた（血）圧モニターラインや血流量計等が挙げられる。

【0046】＜回路およびシステムの簡素化＞回路を簡素化し、チューブを極力短くすることにより、体外循環回路の充填量の減少が可能となる。充填量の減少は血液希釈による浮腫の発生を抑え、輸血の必要性を大幅に低下させることにより、低侵襲性に寄与できる。また、予め製造レベルで回路を組み立てておくことにより、組み立てに必要な労力を省略し、人的省力化とコスト削減につながる。さらに、製造レベルで回路内の充填も済ませておけば、さらに術前の準備が軽減できる。また、従来の体外循環装置は大型であり、広いスペースを確保する必要があり、移動が困難なため、器材の弾力ある運用に支障を来していた。本発明では、回路および駆動装置をコンパクトに設計し、可搬性を確保することが可能であり、これらの問題も解決される。

【0047】＜拍動および振動付加装置＞脳血管障害や腎不全などの合併症を有する患者では、拍動流を有する体外循環の有効性が認められている。よって、本発明においても、拍動および振動を付加可能とすることは、低侵襲化を図るためにも有効である。拍動および振動を付加する方法には次のようなものが考えられる。第1に、ポンプの回転数を周期的に増減させることにより、拍動流を発生させる方法である。第2に、血液リザーバの容量を周期的に増減させることにより、拍動流ないし振動を発生させる方法である。特に後者は、能動的に容量を調節できる血液リザーバの特徴を生かした新規な方法である。第1と第2の方法を併用することも可能であり、有効である。

【0048】＜抗血栓処理＞回路の血液接触面に抗血栓性処理を施す。さらに、本発明においては、空気と接しない閉鎖式で、血流鬱滞箇所の少ない抗血栓性を高めた血液リザーバを用いるため、抗血栓性処理と相まって、より少ない抗凝固剤での体外循環が可能となる。具体的には、通常の体外循環ではヘパリンなどの抗凝固剤を投与して、活性化凝固時間を400秒以上に保つところを、200秒から250秒で運転可能とする。その結果、出血が少なくなり、手術時間の短縮や輸血の必要性の低下など、体外循環装置の低侵襲性を高めるために有効である。

【0049】＜分離式操作パネル＞図6に一例を示すように、手術野に設置可能な分離式操作パネル26を使用し、制御に必要な操作が手術野から可能とする。これにより、特別な体外循環操作者を設ける必要性が少なくなり、人的省力化につながる。分離式操作パネルは、タッ



チパネル式の液晶ディスプレイに透明な滅菌カバー27を掛けたものなどが考えられる。術者28（あるいは第一助手）の手の届くところに設置し、体外循環の監視や制御が音や音声を用いて手術をしながらでも可能となるようなユーザインターフェイスが好ましい。

【0050】＜遠隔操作機能＞体外循環の操作が、手動から、より自動化されれば、遠隔からの監視と制御が可能となる。具体的な例を示せば、体外循環の監視と制御に必要なデータを、汎用性のある計測器と通信の規格（たとえばGPIBとTCP/IPの組み合わせなど）でネットワーク上に乗せ、体外循環集中管理室で一括管理する。多数の体外循環装置が同時に運転されている大規模な病院では、人的省力化につながる有効な方法である。また、全てのデータを記録し保存することも可能となるので、学術的な活用役立つ。

【0051】＜回路内空気混入防止装置＞回路内への空気混入は、体外循環運転中に起こる重大なトラブルの一つである。簡便なシステムであるということは、簡便に使用できるほど安全性が高いということである。空気混入への対処法には、いくつかの方法が考えられる。第1に、体外循環血液流量をモニターする流量計として超音波流量計を用い、同流量計にバブル検出機能を持たせる。図1に示すように、超音波流量計のプロープ31を回路の流入部に取り付け、バブルが検出されれば、直ちに警報を発し、対処する。

【0052】第2に、回路流入部にフィルタ32を設置する。フィルタ32は回路のもっとも高いところに設置し、空気がたまるようにする。第3に、一例を図7に示したように、フィルタ32に空気を検出するための光学的センサ33を設置し、空気がたまれば、これを検出し、直ちに警報を発し、ポンプを停止させる。第4に、フィルタ32の上部先端に空気を排出するためのポート34を設置し、ポート34を吸引回路35に接続する。通常このポート34は遮断器36により遮断されている。フィルタ32に空気がたまれば、直ちに手動、もしくは自動的にポートの遮断が解除され、空気が外部に吸引排出される。これらの方法の複数、あるいは全てを組み合わせることは可能であり、有効である。なお図7における30は血液の流れを示す。

【0053】＜周辺装置との連動＞体外循環装置には、術式によりいくつかの周辺装置が必要となる。すなわち、吸引回路、吸引回路用リザーバ、血液濃縮装置（セルセーバ、限外濾過装置）、心筋保護液回路ならびに注入装置、ベント回路などである。本発明において、これらの装置との連動を図ることは有効である。

【0054】（より具体的な実施の形態）以下に、本発明の体外循環装置を用いる手術の一例としてMICS下の僧帽弁手術を前提とし、それに適した、より具体的な実施の形態について説明する。

【0055】＜体外循環装置の構成＞回路の上流（脱血

管側）から下流（送血管側）に向かって、図1に示すように、フィルタ9、ポンプ6、人工肺7、血液リザーバ3を順次短いチューブで接続する。これらは、コンパクトで充填液量の少ないものが好ましい。これらは、出荷時に既に組み立てられていると便利である。これらは、滅菌されて供給されることが好ましく、コンパクトであることと相まって、手術の滅菌術野に設置することも可能であり有効である。滅菌術野に設置できれば、脱血管や送血管と接続するためのチューブをさらに短くでき、全体の充填液量をさらに少なくできる。フィルタは、不純物の除去と、回路内に混入した空気の捕獲・遮断が目的である。空気を捕獲するために、全回路内でもっとも高い位置に設置する。

【0056】ポンプはターボ式ポンプが好ましいが、小型の斜流ポンプであれば、さらに好ましい。ポンプを駆動するためのモータは、防水性で滅菌可能であれば滅菌術野に設置でき、取り扱いが便利である。あるいは、ポンプと同じディスポーザル製で滅菌しておれば、さらに取り扱いが便利である。人工肺はどのようなものも利用できるが、コンパクトなものが好ましい。ガス交換能や血液適合性の優れたものは、特に好ましく、この点から、気泡型より膜型がよい。血液リザーバは、貯血された血液容量を機械的に計測し、調節可能なものとする。様々な態様が考えられるが、機械式と水圧式のそれぞれについて、一例を挙げる。

【0057】機械式はプッシャープレートを用いる。血液リザーバの血液室は硬性のハウジングと柔軟な膜からなる。血液リザーバ駆動装置は血液室の柔軟な膜を圧迫するための硬性のプッシャープレートと、プッシャープレートを圧迫・牽引するためのモータと、モータコントローラからなる。プッシャープレートは、血液リザーバの柔軟な膜を均一に圧迫できるものでなければならない。プッシャープレートが床に対して水平となるように血液リザーバを設置した方が、プッシャープレートにかかる加重が均一となり好ましい。プッシャープレート内にヒーターを埋め込み、患者の体温を上げる必要が生じれば加温する。モータは回転を直線運動に変換する手段を持たなければならないが、はじめから直線運動を生じるリニアモータでもよい。モータコントローラは、主にモータの位置制御を行う。血液室の容量計測はモータの位置を検出することにより行う。

【0058】液圧式においては、透明な硬性のプラスチック容器の内部に柔軟な隔壁（ダイアフラム）を置き、血液室と圧調節室の二つの腔を設ける。圧調節室は、接続チューブにより送液用の貯液室に接続されている。圧調節室、貯液室、接続チューブは送液用の液体（水道水を使用）で満たされている。接続チューブの途中にはローラーポンプが設置されており、ローラーポンプを正方向あるいは逆方向に回転させることにより、圧調節室の容量を調節し、その結果血液室の容量が調節される。液

15

圧式では血液リザーバの設置は、床に対してどの様な角度でも良く、設置の自由度が高い。圧調節室内にヒーターを埋め込み、患者の体温を上げる必要が生じれば加温する。図 1 に示すように、流入部には回路内圧測定ポート 37 を設け、流入部回路内圧をモニターする。また、流入部に超音波流量計（バブル検出機能付き）プローブを取り付ける。

【0059】体外循環装置に拍動流を発生させる機能を付加する。ポンプのモータの回転数と血液リザーバの容量を周期的に同期を取って変化させることにより、強力な拍動付加能力が得られる。本発明の体外循環装置各構成要素の接続順序は、従来の体外循環装置とは異なった配慮が必要である。フィルタは回路内に混入した空気の捕獲・遮断が大きな目的であるため、最上流に設置する。ポンプより上流は陰圧、下流は陽圧となっている。よって、人工肺は陽圧側に置く。血液リザーバは、陰圧、陽圧のどちら側にも設置可能であるが、前述の機械式であれば陽圧側に設置した方が好ましい。その理由は、血液室内が陽圧であれば、プッシャープレートで強制牽引する必要がなく、血液リザーバの柔軟な膜とプッシャープレートの間を接着固定する必要がなくなり、組み立て上便利である。血液リザーバを用いて拍動流を発生させるためには、血液リザーバをもっとも下流に設置することが望ましい。以上より、回路の上流（脱血管側）から下流（送血管側）に向かって、フィルタ、ポンプ、人工肺、血液リザーバの順となることが望ましい。

【0060】体外循環装置を駆動・制御するためのコントローラに必要な機能は数多くある。この機能の中には少なくとも、ポンプモータの回転と制御、血液リザーバ駆動装置モータの駆動と制御、流入部回路内圧測定用トランスデューサとアンプ、超音波流量計（バブル検出機能付き）、分離式操作パネルとの通信、患者の血圧等の外部データ入力、システム全体の制御、などが含まれる。さらに、吸引回路、吸引回路用リザーバ、血液濃縮装置（セルセーバ、限外濾過装置）、心筋保護液回路ならびに注入装置、ベント回路などとの連動機能も有効である。また、ネットワークを介しての監視・制御データの出力機能も有効である。同コントローラは、システムの省スペースと可搬性を高めるために、小型で移動可能なものが好ましい。

【0061】＜手術のセッティング＞本発明の体外循環装置を構成するフィルタ、ポンプ、人工肺、血液リザーバは、出荷時に組み立て、滅菌を完了させておくことにより、短時間に滅菌手術野に設置できる。回路内の充填と空気抜きは、滅菌手術野に設置する前でも、後でも可能である。また、液漏出の発生しないシリコン製膜型肺を用いれば、出荷時にすでに充填まで完了させることも可能であり、大幅な省力化につながる。空気抜き用のポートは、フィルタと血液リザーバに設けておく。体外循環装置コントローラを手術台の近傍に設置する。流入部

16

回路内圧をモニターし、滅菌された超音波流量計（バブル検出機能付き）プローブを取り付ける。さらに、吸引回路、心筋保護液回路などを準備する。分離式操作パネルに透明な滅菌カバーをかけ、術者の操作しやすい場所に設置する。術者、手術助手、麻酔医の協調の下に体外循環を運転する。従って、体外循環装置操作のためだけの特別な人員を配置しない。

【0062】＜手術の実施＞本発明の体外循環装置を用いた MICS 下の僧帽弁手術の手順を一例として挙げる。皮膚切開は極力短くし、部分的な正中胸骨切開を行い、心臓を露出する。また、右鼠径部に小切開を加え、大腿動静脈を露出する。大腿動脈に送血管を、大腿静脈から下大静脈に脱血管を挿入する。胸骨切開部から上大静脈に直接脱血管を挿入する。上大静脈と下大静脈の右心房近縁にテープによる二重のスネアを掛け、ターニケットとする。このターニケットは、静脈の陰圧による強制脱血でも空気を引き込まないように十分に遮断ができるものでなければならない。脱血管の太さは患者により異なるが、細いものが挿入も簡単に視野の妨げにならない。上行大動脈に心筋保護液注入用のカニュラを設置する。充填され、空気抜きの終了した体外循環回路と、患者に取り付けられた送血管および脱血管を接続する。回路全体に問題がないことを確認し、体外循環を開始する。

【0063】体外循環は基本的に自動運転可能とする。患者動脈圧が予め設定した値を下回らないことを条件に、ポンプ回転数を設定流量が得られるまで上げる。設定流量が得られれば、次に血液リザーバの容量を上げる。患者動脈圧と流量の許すかぎり血液リザーバの容量を上げていく。安定した体外循環運転が得られていることを確認し、上行大動脈を遮断し、心筋保護液を注入し、心臓を停止させる。灌流してきた心筋保護液や出血などは吸引され、吸引回路用リザーバに集められる。集められた液は血液濃縮装置（セルセーバ、限外濾過装置など）で処理され、患者に輸血される。血液濃縮装置の操作は簡単であるため、特別に訓練された体外循環技術者でなくても施行可能である。

【0064】上下大静脈を遮断し、右心房・心房中隔切開、もしくは左房切開により僧帽弁に至る。僧帽弁手術、例えば僧帽弁置換術や僧帽弁形成術の方法は、MICS であっても、通常と変わらない。僧帽弁の処置終了後、心臓内の空気を十分除去し、上行大動脈遮断を解除し、心臓切開部を完全に縫合閉鎖する。上下大静脈遮断を解除し、体外循環流量を下げ、心拍動が充分であれば体外循環を終了する。体外循環からの離脱操作は、ある程度手動で行うことが必要だが、心内操作終了後であるので、術者や手術助手が施行可能である。

【0065】＜空気混入への安全対策＞体外循環施行中の重大なトラブルに、回路内の空気混入がある。とくに、閉鎖型の血液リザーバを用いた場合は、直ちに空気

17

を除去しないと患者の動脈に送り込む危険性があるため問題である。空気の混入箇所は、ポンプより上流の陰圧側である。よって、陰圧側に不要なポートを設けないことが重要である。また、回路の接続部は簡単に外れないような工夫も必要である。回路自体に問題はなくとも、心臓内から脱血管に空気を引き込む可能性もある。そのため、上下大静脈の遮断は、確実なものとしなければならない。

【0066】また、流入部回路内圧が過大な陰圧にならないようにポンプを制御し、吸い付きを予防する。これらの安全対策を行っても、空気が混入する可能性を考慮し、さらに安全機構を設ける。混入した空気は、超音波流量計のバブル検出機能により検出され、直ちに警報を鳴らし、ポンプの回転数を下げ、流量を減らす。ただし、停止はしない。ポンプの停止は、循環遮断を意味するので、安易なポンプ停止は適切な対応とは言えない。フィルターにも空気検出のセンサーを取り付け、空気が一定以上たまれば、直ちにポンプを停止させる。フィルターの上端には空気抜きポートを設けておき、あらかじめ吸引回路を接続し、通常は遮断しておく。バブル検出機能により空気が検出されるか、フィルターに空気がたまれば、自動もしくは手動操作で、吸引回路への遮断を解除し、空気を回路外に除去する。また、血液リザーバにも、上端に空気抜きポートを設け、必要に応じ空気を抜けるようにしておく。

【0067】

【発明の効果】本発明によれば、血液リザーバが容量調節手段と容量検出手段を有することにより、体外循環の制御が容易であり、装置運転の負担が軽減された体外循環装置を提供することができる。また、装置運転の自動化も可能となる。さらに、血液リザーバと血液ポンプを併せて制御することにより、血液ポンプの駆動流量を高くしても装置を安全に運転できるので、低侵襲な体外循環が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施形態における体外循環装置を示す模式図

【図2】 本発明の実施形態における流体圧式容量調節血液リザーバを示す模式図

【図3】 本発明の実施形態における各種の流体（液）圧式容量調節血液リザーバの容量調節装置（容量規定方式）を示す模式図

【図4】 本発明の実施形態における各種の流体（液）圧式容量調節血液リザーバの容量調節装置（ポンプ水圧調節方式）を示す模式図

【図5】 本発明の実施形態における各種の機械式容量

18

調節血液リザーバを示す模式図

【図6】 本発明の実施形態における分離式操作パネルの概要を示す模式図

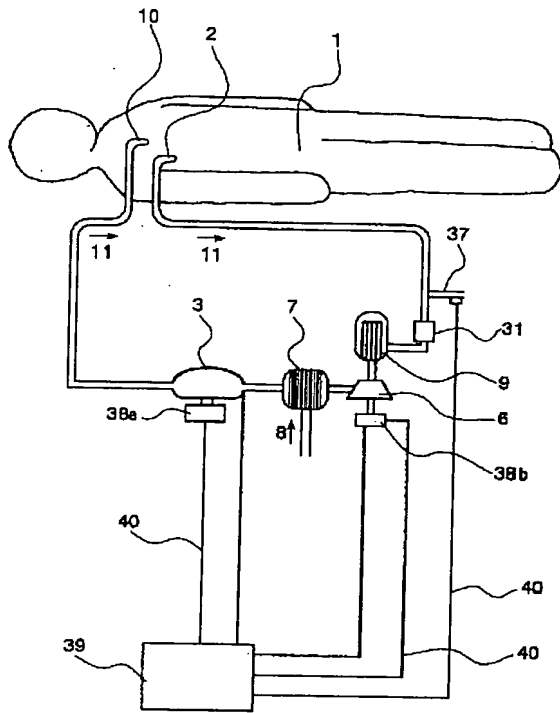
【図7】 本発明の実施形態における空気混入防止装置を示す模式図

【図8】 従来例の体外循環装置を示す模式図

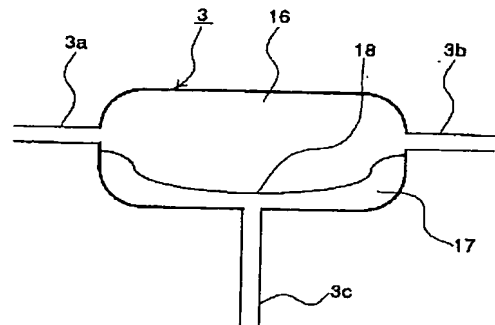
【符号の説明】

- 2 脱血管
- 3 血液リザーバ
- 4 加温冷却装置
- 5 熱交換器
- 6 メインポンプ
- 7 人工肺
- 8 人工肺へのガスの流れ
- 9 フィルタ
- 10 送血管
- 11 回路内の血液の流れ
- 12 ピストン
- 13 シリンジ
- 14 ベローズ
- 15 プッシャープレート
- 16 血液室
- 17 圧調節室
- 18 ダイアフラム
- 19 ピストン
- 20 シリンジ
- 21 ベローズ
- 22 プッシャープレート
- 23 ローラーポンプ
- 24 軸流ポンプ
- 25 送液用の貯液室
- 26 分離式操作パネル
- 27 透明シート
- 30 血液の流れ
- 31 超音波流量計プローブ
- 32 フィルタ
- 33 光学的センサ
- 34 空気を排出するためのポート
- 35 吸引回路
- 36 回路遮断器
- 37 回路内圧測定ポート
- 38 a 駆動装置
- 38 b 駆動用モータ
- 39 コントローラ
- 40 配線

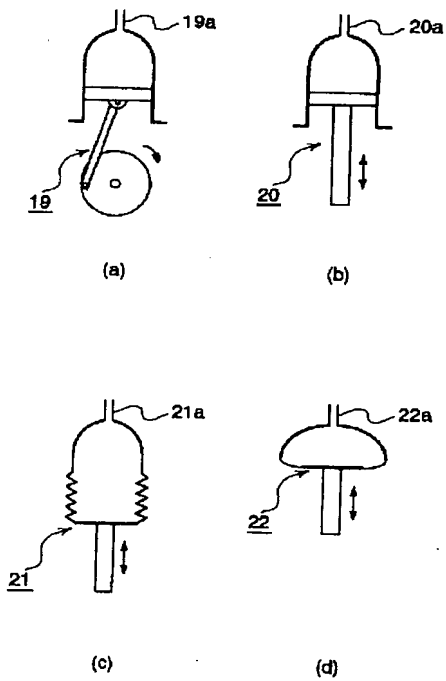
【図1】



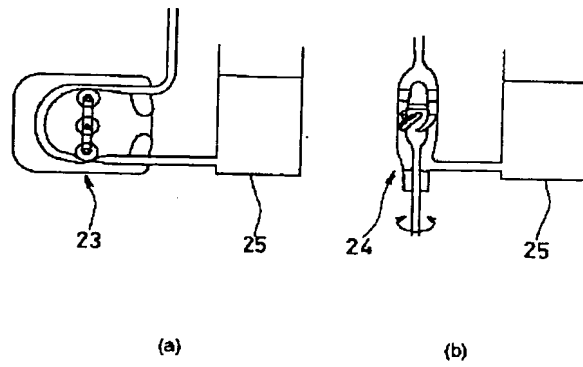
【図2】



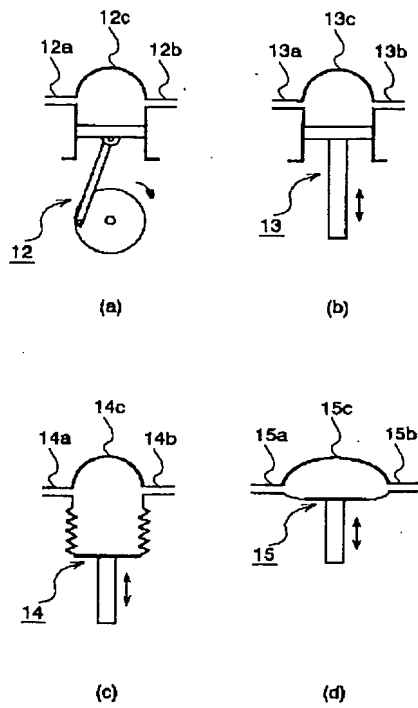
【図3】



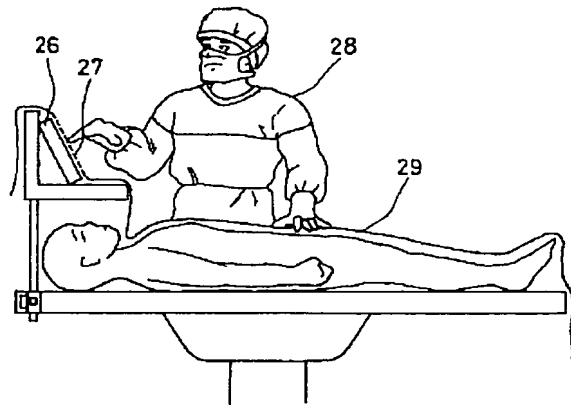
【図4】



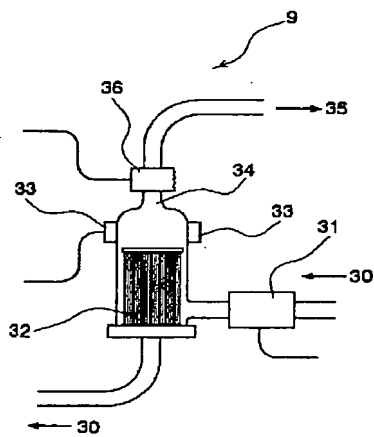
【図 5】



【図 6】



【図 7】



【図 8】

